

**Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích
Ústav znalectví a oceňování**

**ZNALECKÝ ÚSTAV JMENOVANÝ MINISTREM SPRAVEDLNOSTI ČR
PRO OBOR EKONOMIKA, STROJÍRENSTVÍ A STAVEBNICTVÍ**

Zadavatel: AIVOTEC s.r.o.
Na Sádkách 2798
767 01 Kroměříž
IČ 24172138
DIČ CZ24172138

Znalecký posudek č. 227/28/2019

biouhel

Číslo jednací:

VŠTE004825/2019

Datum zpracování posudku:

27. 5. 2019

**Znalecký posudek připravili, mohou jej
stvrdit a podat příp. vysvětlení dle § 22
odst. 1 zákona č. 36/1967 Sb.:**

Ing. Vojtěch Stehel, MBA, PhD.

doc. Ing. Josef Maroušek, Ph.D.

Ing. Tomáš Krulický

Ředitelka ústavu:

Ing. Veronika Machová, MBA

Počet stran ZP + přílohy:

24

Počet vyhotovení:

3 předané + 1 uložené ve Znaleckém ústavu

OBSAH

Prohlášení	3
Nález.....	4
Znalecký úkol	4
Místní šetření	4
Posudek	5
Teoretický úvod do problematiky.....	5
Odpovědi na vznesené dotazy	6
Znalecká doložka VŠTE.....	23

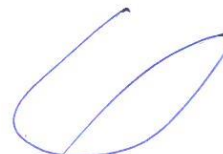
PROHLÁŠENÍ

Znalecký ústav Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích (dále jen „Znalecký ústav“) nenese žádnou odpovědnost za správnost a úplnost zadavatelem předložených vstupních informací, které převzal bona fide bez možnosti jejich dalšího ověření a porovnání s jiným informačním zdrojem. Informace, s nimiž Znalecký ústav pracoval a na jejichž základě provedl posouzení, byly získány z veřejných zdrojů nebo od zadavatele znaleckého posudku.

Ve znaleckém posudku byly respektovány všechny podstatné skutečnosti, které byly Znaleckému ústavu známy a které měly vliv na zpracování znaleckého posudku.

Znalecký ústav nemá v současné době ani v budoucnosti nebude mít žádné zájmy na majetku, který je předmětem posudku, a neexistuje osobní zájem nebo zaujatost vzhledem k majetku, který je předmětem posudku. Rovněž tak odměna za zpracování znaleckého posudku nezávisí na zjištěných závěrech.

V Českých Budějovicích dne 27. 5. 2019



.....
Ing. Veronika Machová, MBA
ředitelka ústavu znaleství a oceňování
Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích

NÁLEZ

Zadavatel se obrátil na Znalecký ústav s žádostí o vypracování znaleckého posudku, jehož předmětem je analýza specifických okolností biouhlu.

Znalecký úkol

1. Je možno technologii pyrolýzy fermentačních zbytků bioplynových stanic, která probíhá při minimálně 450 °C, interpretovat jako dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého? Fermentovaným materiálem je typicky biomasa kukuřice a sláma. Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.
2. Je možno technologii pyrolýzy dřevní hmoty, která probíhá při minimálně 650 °C, interpretovat jako dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého? Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.
3. Napomáhá technologie inkorporace biouhlu do půdy sekvestraci oxidu uhličitého z atmosféry? Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.
4. Lze v případě kladných odpovědi bez ohledu na případné podmínky považovat zpracování zbytkové a odpadní biomasy procesem karbonizace nebo pyrolýzy (případně zuhelnování) za vhodný způsob využití těchto materiálu?

Místní šetření

S ohledem na charakter zadaného úkolu nebylo místní šetření vykonáno.

POSUDEK

TEORETICKÝ ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Za sekvestraci uhlíku (v české literatuře uváděno též jako ukládání, lapání či propad; v zahraničí jako carbon sequestration, či carbon sink) jsou považovány děje, které vedou k vázání uhlíku z atmosféry (nejčastěji ve formě oxidů uhlíku, Riahi a kol., 2004). Do popředí zájmu se tyto mechanismy dostaly v souvislosti s projevy doprovázejícími prudké změny v ustáleném uhlíkovém cyklu, které zřejmě vyvolalo intenzivní využíváním fosilních zdrojů (hmotnost uhlíku uvolněného do atmosféry lidskou činností je odhadována na 8,6 Pg ročně; Lal, 2007). Panuje široký konsenzus, že pokud by sekvestrace uhlíku dlouhodobě převýšila jeho uvolňování do atmosféry, může v důsledku zpomalit tempo odchylování stavu životního prostředí ze stavu před průmyslovou revolucí.

Sekvestrační děje je možno dělit na skupiny, které probíhají samovolně (přírodně) a na skupiny, které jsou výsledkem lidské snahy. Existují však obavy, že naprostá většina lidských snah o sekvestraci uhlíku je kontraproduktivní, respektive, že způsobuje neúměrné vedlejší škody (včetně zvýšení uvolňování uhlíku do ovzduší).

Za biouhel (v české literatuře uváděno raritně jako biouhlí, častěji však v anglickém termínu biochar) je považován pevný produkt pyrolýzy biologického odpadu (nejčastěji odpadní rostlinné hmoty (fytomasy), pokud se jedná o odpadní rostlinnou hmotu z dřevin, lze diskutovat o odpadní dendromase), která je sypké konzistence a jejímž primárním účelem je využití v obhospodařování půdy, respektive zemědělství, lesnictví a krajinném hospodářství obecně (He a kol., 2017).

Zdroje:

He, Y., Zhou, X., Jiang, L., Li, M., Du, Z., Zhou, G., ... & Wallace, H. (2017). Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: a meta-analysis. *Gcb Bioenergy*, 9(4), 743-755.

Lal R. (2007). Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363(1492), 815–830. doi:10.1098/rstb.2007.2185

Riahi, K., Rubin, E. S., Taylor, M. R., Schrattenholzer, L., & Hounshell, D. (2004). Technological learning for carbon capture and sequestration technologies. *Energy economics*, 26(4), 539-564.

ODPOVĚDI NA VZNESENÉ DOTAZY

1) Je možno technologii pyrolýzy fermentačních zbytků bioplynových stanic, která probíhá při minimální teplotě 450°C interpretovat jako dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého? Fermentovaným materiálem je typicky biomasa kukuřice a sláma. Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.

Aby bylo možno provozování jakékoli technologie považovat za příspěvek dlouhodobé sekvestraci uhlíku, je nezbytné, aby: a) uhlíková balance procesu byla negativní; b) byla minimalizována budoucí transformace uhlíku do atmosféry z dlouhodobého horizontu a c) byla minimalizována vedlejší negativa (Figueroa a kol., 2008; Riahi a kol., 2004; Herzog and David, 2000).

Ad a)

Vzhledem k tomu, že materiál vstupující do technologie je rostlinného původu a v návaznosti na fakt, že fotosyntéza je považována za příkladnou metodu sekvestrace uhlíku (Wan a kol., 2009; Lal, 2007; Stewart a Hassami., 2005; Goulden a kol., 1996), lze považovat vstupní substrát za negativní co do uhlíkové bilance. Užitá agrochemie a logistika však nepřímo snižuje uhlíkovou bilanci u cíleně pěstované rostlinné hmoty o jednotky % (Farrelly a kol., 2013; Corsi a kol., 2012; Cheng a kol., 2011; Atkinson a kol., 2010; Küstermann a kol., 2008; Aneja a kol., 2008; Baker a Griffis, 2005; Post a Kwon, 2000). Pokud je však reflektováno, že rostlinný materiál byl vyroben primárně za jiným účelem (produkce potravin, fermentace a podobně), nelze k nepřímým faktorům přihlížet s plnou vahou.

Ad b)

Poměr uhlíku uvolněný do atmosféry (materiálový tok v poměru vůči pevným a kapalným reziduím) během pyrolýzy zemědělských reziduí při teplotách okolo 450°C je dle současného stavu poznání zanedbatelný (Crombie a Mašek, 2015; Zhao a kol., 2011; Gaunt a Lehmann, 2008) jak během procesu pyrolýzy (Cha a kol., 2016; Ronsse a kol., 2013), tak během dalšího nakládání (Hammes et al. 2008, detailněji je problematika rozvedena v následujících kapitolách).

Ad c)

Je považováno za dostatečně prokázané, že aplikace biouhlu do půdy nepředstavuje v naprosté většině případů ohrožení životního prostředí, ale naopak vede ke zvýšení úrodnosti půdy (Nguyen et al., 2017; Cayuela a kol., 2014; Jeffery a kol., 2011). Výjimku by představovala aplikace pyrolyzních zbytků s extrémně vysokými koncentracemi škodlivin, například těžkých kovů. Avšak, proces pyrolýzy nejen, že významný podíl těžkých kovů imobilizuje do biologicky nepřístupných forem (Park a kol., 2011), ale takové koncentrace zároveň nejsou přípustné z hlediska povahy dotazované vstupní suroviny. Nadto je hodno podotknout, že zvýšení kvalitativních vlastností půdy vede v důsledku k intenzivnější produkci rostlinné hmoty (Lehmann a Joseph, 2015), respektive fotosyntézy, tudíž dochází ke kumulaci pozitivních dopadů (Ferreira a kol., 2017; Lehmann a kol., 2011, 2006).

Lze shrnout, že pokud jsou splněny podmínky:

- 1. dodržování zásad dobré zemědělské praxe (= racionální užití agrochemie);**
- 2. vstupy a výstupy jsou transportovány na minimální vzdálenosti (= nezbytné minimum fosilních paliv) a**
- 3. je zajištěno čištění pyrolyzních plynů a nakládání s kapalnými rezidui pyrolýzy,**

Ize považovat technologii pyrolýzy fermentačních zbytků bioplynových stanic, která probíhá při minimální teplotě 450°C za dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého.

Zdroje:

Aneja, V. P., Schlesinger, W. H., & Erisman, J. W. (2008). Farming pollution. *Nature Geoscience*, 1(7), 409.

Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, 337(1-2), 1-18.

Baker, J. M., & Griffis, T. J. (2005). Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using eddy covariance and mass balance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(3-4), 163-177.

Cayuela, M. L., Van Zwieten, L., Singh, B. P., Jeffery, S., Roig, A., & Sánchez-Monedero, M. A. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 5-16.

- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 1-15.
- Cheng, K., Pan, G., Smith, P., Luo, T., Li, L., Zheng, J., ... & Yan, M. (2011). Carbon footprint of China's crop production—An estimation using agro-statistics data over 1993–2007. *Agriculture, ecosystems & environment*, 142(3-4), 231-237.
- Corsi, S., Friedrich, T., Kassam, A., Pisante, M., & Sà, J. D. M. (2012). Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
- Crombie, K., & Mašek, O. (2015). Pyrolysis biochar systems, balance between bioenergy and carbon sequestration. *Gcb Bioenergy*, 7(2), 349-361.
- Farrelly, D. J., Everard, C. D., Fagan, C. C., & McDonnell, K. P. (2013). Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 21, 712-727.
- Ferreira, C., Verheijen, F., Puga, J., Keizer, J., & Ferreira, A. (2017, April). Biochar in vineyards: impact on soil quality and crop yield four years after the application. In *EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 19, p. 1600)*.
- Figuerola, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H., & Srivastava, R. D. (2008). Advances in CO2 capture technology—the US Department of Energy's Carbon Sequestration Program. *International journal of greenhouse gas control*, 2(1), 9-20.
- Gaunt, J. L., & Lehmann, J. (2008). Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental science & technology*, 42(11), 4152-4158.
- Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Daube, B. C., & Wofsy, S. C. (1996). Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: Methods and a critical evaluation of accuracy. *Global change biology*, 2(3), 169-182.
- Hammes, K., Torn, M. S., Lapenas, A. G., & Schmidt, M. W. (2008). Centennial black carbon turnover observed in a Russian steppe soil. *Biogeosciences*, 5(5), 1339-1350.
- Herzog, H., & David, J. (2000, July). The Cost of Carbon Capture. In *Fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*. Cairns, Australia.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.
- Küstermann, B., Kainz, M., & Hülsbergen, K. J. (2008). Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable agriculture and food systems*, 23(1), 38-52.
- Lal R. (2007). Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363(1492), 815–830. doi:10.1098/rstb.2007.2185

Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427.

Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.

Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., ... & Bai, S. H. (2017). Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.

Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*, 348(1-2), 439.

Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global change biology*, 6(3), 317-327.

Riahi, K., Rubin, E. S., Taylor, M. R., Schrattenholzer, L., & Hounshell, D. (2004). Technological learning for carbon capture and sequestration technologies. *Energy economics*, 26(4), 539-564.

Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 104-115.

Stewart, C., & Hessami, M. A. (2005). A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. *Energy Conversion and Management*, 46(3), 403-420.

Wan, S., Xia, J., Liu, W., & Niu, S. (2009). Photosynthetic overcompensation under nocturnal warming enhances grassland carbon sequestration. *Ecology*, 90(10), 2700-2710.

Zhao, X., Zhang, J., Song, Z., Liu, H., Li, L., & Ma, C. (2011). Microwave pyrolysis of straw bale and energy balance analysis. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 92(1), 43-49.

2) Je možno technologii pyrolýzy dřevní hmoty, která probíhá při minimálně 650°C, interpretovat jako dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého? Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.

Aby bylo možno provozování jakékoli technologie považovat za příspěvek dlouhodobé sekvestraci uhlíku, je nezbytné, aby: a) uhlíková balance procesu byla negativní; b) byla minimalizována budoucí transformace uhlíku do atmosféry z dlouhodobého horizontu a c) byla minimalizována vedlejší negativa (Figueroa a kol., 2008; Riahi a kol., 2004; Herzog and David, 2000).

Ad a)

Vzhledem k tomu, že dřevní hmota vstupující do technologie je rostlinného původu a v návaznosti na fakt, že fotosyntéza je považována za příkladnou metodu sekvestrace uhlíku (Proffit a kol., 2009; Wan a kol., 2009; Lal, 2007; Woodbury a kol., 2007; Stewart a Hassami., 2005; Goulden a kol., 1996), lze považovat vstupní substrát za negativní co do uhlíkové bilance. Uhlíková bilance bude pravděpodobně mírně snížena užitím lesní chemie a spotřebou fosilních paliv při těžbě, logistice a zpracování (Skog, 2008; Zeng, 2008; Albrecht a Kandji, 2003; Oren a kol., 2001; Nadelhoffer a kol., 1999; Skog a Nicholson, 2000, 1998).

Ad b)

Poměr uhlíku uvolněný do atmosféry (materiálový tok v poměru vůči pevným a kapalným reziduím) během pyrolýzy dřevní hmoty při teplotách minimálně 650°C je dle současného stavu poznání zanedbatelný (Margeriat a kol., 2018; Daouk a kol., 2017; Thy a kol., 2017; Zeng a kol., 2016; Crombie a Mašek, 2015; Slopiecka a kol., 2012; Zhao a kol., 2011; Gaunt a Lehmann, 2008; Grieco a baldi, 2001; Di Blasi a Brance, 2001; Helsen a kol., 1997; Thurner a Mann, 1981) jak během procesu pyrolýzy (Luo a kol., 2017; Cha a kol., 2016; Chen a kol., 2016; Atsonios a kol., 2015; Ronsse a kol., 2013), tak během dalšího nakládání (Wang a kol., 2017; Padersen a kol., 2016; Haarlemmer a kol., 2016; Kan a kol., 2016; Sharma a kol., 2015; Hammes et al. 2008, detailněji je problematika rozvedena v následujících kapitolách).

Ad c)

Analogicky jako u předchozí otázky, současné rešerše i meta-analýzy problematiky se shodně a nezávisle přiklánějí k široce uznávanému konzenzu, že aplikace biouhlu do půdy je z hlediska dopadu na životní prostředí vnímána veskrze pozitivně (Nguyen a kol., 2017; Wang a kol., 2016; Omondi a kol., 2016; Jeffery a kol., 2016).

Lze shrnout, že pokud jsou splněny podmínky:

- 1. dodržování zásad dobré lesnické praxe (= racionální užití lesní chemie);**
- 2. vstupy a výstupy jsou zpracovávány efektivně a transportovány na minimální vzdálenosti (= nezbytné minimum fosilních paliv) a**
- 3. je zajištěno čištění pyrolyzních plynů a nakládání s kapalnými rezidui pyrolýzy**

Ize technologii pyrolýzy dřevní hmoty, která probíhá při minimálně 650°C interpretovat jako dlouhodobou sekvestraci oxidu uhličitého.

Zdroje:

Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 99(1-3), 15-27.

Atsonios, K., Panopoulos, K. D., Bridgwater, T., & Kakaras, E. (2015). Biomass fast pyrolysis energy balance of a 1kg/h test rig.

Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40, 1-15.

Chen, D., Li, Y., Deng, M., Wang, J., Chen, M., Yan, B., & Yuan, Q. (2016). Effect of torrefaction pretreatment and catalytic pyrolysis on the pyrolysis poly-generation of pine wood. *Bioresource technology*, 214, 615-622.

Crombie, K., & Mašek, O. (2015). Pyrolysis biochar systems, balance between bioenergy and carbon sequestration. *Gcb Bioenergy*, 7(2), 349-361.

Daouk, E., Van de Steene, L., Paviet, F., Martin, É., Valette, J., & Salvador, S. (2017). Oxidative pyrolysis of wood chips and of wood pellets in a downdraft continuous fixed bed reactor. *Fuel*, 196, 408-418.

Di Blasi, C., & Branca, C. (2001). Kinetics of primary product formation from wood pyrolysis. *Industrial & engineering chemistry research*, 40(23), 5547-5556.

Figueroa, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H., & Srivastava, R. D. (2008). Advances in CO₂ capture technology—the US Department of Energy's Carbon Sequestration Program. *International journal of greenhouse gas control*, 2(1), 9-20.

Gaunt, J. L., & Lehmann, J. (2008). Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental science & technology*, 42(11), 4152-4158.

Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Daube, B. C., & Wofsy, S. C. (1996). Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: Methods and a critical evaluation of accuracy. *Global change biology*, 2(3), 169-182.

Grieco, E., & Baldi, G. (2011). Analysis and modelling of wood pyrolysis. *Chemical Engineering Science*, 66(4), 650-660.

Haarlemmer, G., Guizani, C., Anouti, S., Déniel, M., Roubaud, A., & Valin, S. (2016). Analysis and comparison of bio-oils obtained by hydrothermal liquefaction and fast pyrolysis of beech wood. *Fuel*, 174, 180-188.

Hammes, K., Torn, M. S., Lapenas, A. G., & Schmidt, M. W. (2008). Centennial black carbon turnover observed in a Russian steppe soil. *Biogeosciences*, 5(5), 1339-1350.

Helsen, L., Van den Bulck, E., Van den Broeck, K., & Vandecasteele, C. (1997). Low-temperature pyrolysis of CCA-treated wood waste: chemical determination and statistical analysis of metal input and output; mass balances. *Waste Management*, 17(1), 79-86.

Herzog, H., & David, J. (2000, July). The Cost of Carbon Capture. In *Fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*. Cairns, Australia.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., Kammann, C., & Abalos, D. (2016). Biochar effects on methane emissions from soils: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 101, 251-258.

Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. J. (2016). Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1126-1140.

Lal R. (2007). Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363(1492), 815–830. doi:10.1098/rstb.2007.2185

Luo, G., Chandler, D. S., Anjos, L. C., Eng, R. J., Jia, P., & Resende, F. L. (2017). Pyrolysis of whole wood chips and rods in a novel ablative reactor. *Fuel*, 194, 229-238.

Margeriat, A., Bouzeggane, A., Lorentz, C., Laurenti, D., Guilhaume, N., Mirodatos, C., ... & Schuurman, Y. (2018). Catalytic conversion of beech wood pyrolytic vapors. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 130, 149-158.

Nadelhoffer, K. J., Emmett, B. A., Gundersen, P., Kjønnaas, O. J., Koopmans, C. J., Schleppi, P., ... & Wright, R. F. (1999). Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature*, 398(6723), 145.

- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., ... & Bai, S. H. (2017). Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28-34.
- Oren, R., Ellsworth, D. S., Johnsen, K. H., Phillips, N., Ewers, B. E., Maier, C., ... & Katul, G. G. (2001). Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature*, 411(6836), 469.
- Pedersen, T. H., Grigoras, I. F., Hoffmann, J., Toor, S. S., Daraban, I. M., Jensen, C. U., ... & Nielsen, R. P. (2016). Continuous hydrothermal co-liquefaction of aspen wood and glycerol with water phase recirculation. *Applied energy*, 162, 1034-1041.
- Profft, I., Mund, M., Weber, G. E., Weller, E., & Schulze, E. D. (2009). Forest management and carbon sequestration in wood products. *European journal of forest research*, 128(4), 399-413.
- Riahi, K., Rubin, E. S., Taylor, M. R., Schrattenholzer, L., & Hounshell, D. (2004). Technological learning for carbon capture and sequestration technologies. *Energy economics*, 26(4), 539-564.
- Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 104-115.
- Sharma, A., Pareek, V., & Zhang, D. (2015). Biomass pyrolysis—A review of modelling, process parameters and catalytic studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1081-1096.
- Skog, K. E., & Nicholson, G. A. (1998). Carbon cycling through wood products: the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal*, 48(7), 75-83.
- Skog, K. E., & Nicholson, G. A. (2000). Carbon sequestration in wood and paper products. In: Joyce, Linda A.; Birdsey, Richard, technical editors. 2000. The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-59. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 79-88, 59.
- Skog, K. E. (2008). Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest products journal*. Vol. 58, no. 6 (June 2008): Pages 56-72.
- Slopiecka, K., Bartocci, P., & Fantozzi, F. (2012). Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis. *Applied Energy*, 97, 491-497.
- Stewart, C., & Hessami, M. A. (2005). A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. *Energy Conversion and Management*, 46(3), 403-420.

- Thy, P., Barford, G. H., Cole, A. M., Brown, E. L., Jenkins, B. M., & Leshner, C. E. (2017). Trace metal release during wood pyrolysis. *Fuel*, 203, 548-556.
- Turner, F., & Mann, U. (1981). Kinetic investigation of wood pyrolysis. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 20(3), 482-488.
- Wan, S., Xia, J., Liu, W., & Niu, S. (2009). Photosynthetic overcompensation under nocturnal warming enhances grassland carbon sequestration. *Ecology*, 90(10), 2700-2710.
- Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Gcb Bioenergy*, 8(3), 512-523.
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., & Luo, Z. (2017). Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: a state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 62, 33-86.
- Woodbury, P. B., Smith, J. E., & Heath, L. S. (2007). Carbon sequestration in the US forest sector from 1990 to 2010. *Forest Ecology and Management*, 241(1-3), 14-27.
- Zeng, N. (2008). Carbon sequestration via wood burial. *Carbon Balance and Management*, 3(1), 1.
- Zeng, K., Soria, J., Gauthier, D., Mazza, G., & Flamant, G. (2016). Modeling of beech wood pellet pyrolysis under concentrated solar radiation. *Renewable energy*, 99, 721-729.
- Zhao, X., Zhang, J., Song, Z., Liu, H., Li, L., & Ma, C. (2011). Microwave pyrolysis of straw bale and energy balance analysis. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 92(1), 43-49.

3) Napomáhá technologie inkorporace biouhlu do půdy sekvestrací oxidu uhličitého z atmosféry? Pokud ano, za jakých dodatečných podmínek.

Kvantifikovat rozpad biouhlu v dlouhodobém měřítku je obtížné díky nesnázím s kvantifikací (a oddělením od) nedokonale spálené organické hmoty, která se do půdy dostala před stoletími, ba i tisíciletími (Pituello a kol., 2018; Wang a kol., 2016). Rozklad biouhlu je jen jedním z faktorů určující jeho přetrvání v půdě, odnos větrem nebo vodou, případně vsakování do spodních půdních horizontů tyto studie zásadně ovlivňuje (Yang a kol., 2016). Takto „ztracený“ uhlík se ovšem nemusí rychleji rozkládat a zůstává tak dlouhodobě v krajině uložen, pouze v jiném geografickém prostředí (Wang a kol., 2016).

Výzkum, který kvantifikoval dlouhodobý rozklad spálené organické hmoty (black carbon), která je velmi podobná uměle vytvořenému biouhlu prováděli Hammes a kol. (2008) v ruské stepi. Autoři měli přístup ke 100 let starému vzorku půdy. V této černozi stanovili pokles množství biouhlu na 25% za století a vypočítali obrat biouhlu na 293 let - ovšem zároveň tvrdí že jeho část mohla být odnesena větrnou erozí a osud této části biouhlu není znám. Nguyen a kol. (2009) stanovovali množství biouhlu v Keni po vyklučení pralesa mezi 2 a 100 lety v minulosti. Hladina biouhlu poklesla v těchto půdách přibližně o 70% během 30 let. Cheng a kol. (2008) studovali vzorky uhlíků z pecí starých 130 let na severní hranici USA. Na základě složení uhlíku, vodíku a kyslíku stanovili oxidaci těchto uhlíků tak, aby zjistili míru jejich rozkladu. Jejich zjištěním byla vysoká míra oxidace biouhlu za 130 let, ovšem jeho dekompozice byla relativně pomalá, pouze 23% uhlíku z biouhlu uniklo během 130 let zpět do atmosféry.

Desítky studií, které se zabývají rozkladem biouhlu v krátkodobém měřítku deklarují přesné stanovení doby jeho rozpadu. Do popředí vystupují parametry, při kterých dochází během pyrolýzy. Spokas (2010) uvádí, že biouhel s velkým obsahem kyslíku (poměrem O:C nad 0,6) se rozkládá rychleji s poločasem rozkladu přibližně 100 let, zatímco biouhel se sníženým podílem kyslíku (poměr O:C pod 0,2, tedy jako je v grafitu nebo v uhlí) se rozkládá velmi pomalu s poločasem rozkladu nad 1000 let. Již zmiňovaná meta-analýza 23 studií, kterou provedli Wang a kol. (2015) dochází k podobnému závěru. Lze tudíž považovat za prokázané, že provádění procesu pyrolýzy za vyšších teplot snižuje podíl labilní složky v biouhlu. Veškeré aktuálně dostupné indicie směřují k poznání, že labilní složka biouhlu (nejčastěji do 5 %) se

rozloží relativně rychle, kdežto stabilní přetrvává velmi dlouho – zřejmě nad desítky tisíc let. Zimmerman (2010) porovnával abiotický a mikrobiálně indukovaný rozpad biouhlu ze čtyř typů dřeva, trávy a cukrové třtiny za různých teplot pyrolýzy v laboratorních podmínkách, protože mikroorganismy by měly jeho rozklad urychlit. Rozklad biouhlu bez mikroorganismů dodaných z lesní půdy byl pomalejší o 50 až 90 %. Všechny typy biouhlu ukazovaly logaritmický pokles rychlosti rozkladu. Tyto údaje byly použity na výpočet poloviční doby rozpadu, která dosahovala 1000 a více let.

Údaje ukazující dobu rozkladu biouhlu v přírodě indikují vysokou závislost na mnoha faktorech. Například Major a kol. (2010) měřili množství rozloženého biouhlu pomocí respirace v Kolumbijské savaně. Dva roky po jeho aplikaci zjistili, že 3% byla uvolněna, což dává dobu zdržení biouhlu v půdě přibližně 600 let. Haefele a kol. (2011) studovali rozpad biouhlu v tropickém podnebí Filipín a Thajska. Biouhel pocházející z nízkoteplotní pyrolýzy stonků rýže nezvyšoval množství produkovaného CO₂ z půdy jak těsně po jeho aplikaci, tak ani po dvou letech. Haefele a kol. (2011) tak docházejí k závěru, že biouhel vydrží v půdě tisíce let. Naproti tomu Bai a kol. (2013) porovnávali rychlost rozpadu Ozdobnice (*Miscanthus*) a biocharu z ní a došli k poločas rozpadu cca 1 rok pro Ozdobnici a cca 50 let pro biouhel z ní.

Obdobných studií jsou k dohledání desítky až stovky (Kimetu a Lehmann, 2010; Nguyen a kol., 2009; Wardle a kol., 2008; Skjemstand a kol., 2002; Glaser a kol., 2000; Bird a kol., 1999). Liší se užitými analytickými metodami, vstupním materiálem, konstrukcí pyrolyzní technologie, procesními parametry, typy a druhy půd, klimatem, testovanými plodinami a dalšími parametry. Nejčastěji je uváděno, že biouhel z půdy vymizí přibližně za 400 až 10 000 let. Další směřování takto sekvestrovaného uhlíku nelze spolehlivě kvantifikovat, avšak disponibilní údaje indikují, že jeho transformace do atmosféry není významná.

Dosavadní stav poznání je takový, že pokud je biouhel zapraven do racionálně zemědělsky obhospodařované půdy, lze takovou aplikaci považovat za dlouhodobou sekvestraci uhlíku.

Podmínkou je, aby se aplikace biouhlu prováděla v souladu se zásadami dobré zemědělské praxe.

Zdroje:

Bai, M., Wilske, B., Buegger, F., Esperschütz, J., Kammann, C. I., Eckhardt, C., ... & Breuer, L. (2013). Degradation kinetics of biochar from pyrolysis and hydrothermal carbonization in temperate soils. *Plant and soil*, 372(1-2), 375-387.

Bird, M. I., Moyo, C., Veenendaal, E. M., Lloyd, J., & Frost, P. (1999). Stability of elemental carbon in a savanna soil. *Global biogeochemical cycles*, 13(4), 923-932.

Cheng, C. H., Lehmann, J., & Engelhard, M. H. (2008). Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(6), 1598-1610.

Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W. (2000). Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31(7-8), 669-678.

Haefele, S. M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A., Pfeiffer, E. M., & Knoblauch, C. (2011). Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*, 121(3), 430-440.

Hammes, K., Torn, M. S., Lapenas, A. G., & Schmidt, M. W. (2008). Centennial black carbon turnover observed in a Russian steppe soil. *Biogeosciences*, 5(5), 1339-1350.

Kimetu, J. M., & Lehmann, J. (2010). Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Soil Research*, 48(7), 577-585.

Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., & Goodale, C. (2010). Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology*, 16(4), 1366-1379.

Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., ... & Bai, S. H. (2017). Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.

Nguyen, B. T., Lehmann, J., Kinyangi, J., Smernik, R., Riha, S. J., & Engelhard, M. H. (2009). Long-term black carbon dynamics in cultivated soil. *Biogeochemistry*, 92(1-2), 163-176.

Pituello, C., Dal Ferro, N., Francioso, O., Simonetti, G., Berti, A., Piccoli, I., ... & Morari, F. (2018). Effects of biochar on the dynamics of aggregate stability in clay and sandy loam soils. *European journal of soil science*, 69(5), 827-842.

Skjemstad, J. O., Reicosky, D. C., Wilts, A. R., & McGowan, J. A. (2002). Charcoal carbon in US agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1249-1255.

Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. *Carbon Management*, 1(2), 289-303.

Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Gcb*

Bioenergy, 8(3), 512-523.

Yang, F., Zhao, L., Gao, B., Xu, X., & Cao, X. (2016). The interfacial behavior between biochar and soil minerals and its effect on biochar stability. *Environmental science & technology*, 50(5), 2264-2271.

Wardle, D. A., Nilsson, M. C., & Zackrisson, O. (2008). Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science*, 320(5876), 629-629.

Zimmerman, A. R. (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Environmental science & technology*, 44(4), 1295-1301.

4) Lze v případě kladných odpovědí bez ohledu na případné podmínky považovat zpracování zbytkové a odpadní biomasy procesem karbonizace nebo pyrolýzy (případně zuhelňování) za vhodný způsob využití těchto materiálů?

Odpovědi na výše položené dotazy lze považovat za kladné. Karbonizace, pyrolýza, či zuhelňování je v praxi totožný děj – v chemické terminologii „suchá destilace“, technologicky „pyrolýza“, ve vědecké/anglické literatuře výhradně „pyrolysis“.

Převládající praxe co do nakládání s analogickou odpadní biomasou je tristiň. Fermentační rezidua (= digestát; odseparovaná kapalná frakce = perkolát; pevná frakce = separát) jsou nejčastěji zapravována na zemědělskou půdu, příležitostně kompostována, spolu-spalována, či skládkována. Aplikací fermentačních reziduí na zemědělskou půdu zdaleka není plně využít jejich potenciál (Cheng a kol., 2016; Insam a kol., 2015; Schendel a kol., 2015). Je vhodné připomenout, že fermentační rezidua po anaerobní fermentaci obsahují přibližně 95% vody, což činí jejich aplikaci nákladnou a málo efektivní (Deublein a Steinhauser, 2011; Arthurson a kol., 2009; El-Shinnawi a kol., 1989). Koncentrace živin je nízká (nejčastěji v okolí 3% dusíku, 2% fosforu a 3% draslíku – avšak vztaženo na sušinu; Zheng a kol., 2012; Arthurson a kol., 2009; Pötsch a kol., 2004; Bauer a kol., 2009). Nadto je vhodné poukázat, že tyto živiny jsou přítomny převážně v organické formě, která je pro rostliny nepřijatelná (Makádi a kol., 2012; Yiwen a kol., 2012; Zhang a kol., 2009; Kolář a kol., 2008; Ernst a kol., 2008). Proces mineralizace pomocí půdních mikroorganismů je pomalý a ztrátový, tudíž je hnojivý efekt fermentačních reziduí zanedbatelný (Kolář a kol., 2011, 2008). Ani kvalita zaorané organické hmoty půdě významně neprospívá - jedná se totiž o balastní a těžce rozložitelné formy krystalické celulózy a problematicky rozložitelného ligninu (Kolář a kol., 2011, 2008).

S přihlédnutím k výše uvedeným odpovědím lze transformaci zbytkové, či odpadní biomasy (na biouhel) považovat za vhodný způsob využití těchto materiálů. Nejvyšší technické i ekonomické efekty lze očekávat za předpokladu, že bude daný způsob transformace součástí komplexního a bezodpadového řešení, například formou biorafinace a výsledným produktem budou produkty s přidanou hodnotou, například biouhel obohacený o komplex živin v organické i minerální formě a podobně.

Zdroje:

Arthurson, V. (2009). Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land—potential benefits and drawback. *Energies*, 2(2), 226-242.

Bauer, A., Mayr, H., Hopfner-Sixt, K., & Amon, T. (2009). Detailed monitoring of two biogas plants and mechanical solid–liquid separation of fermentation residues. *Journal of biotechnology*, 142(1), 56-63.

Cheng, H. H., Whang, L. M., Chung, M. C., & Chan, K. C. (2016). Biological hydrogen and methane production from bagasse bioethanol fermentation residues using a two-stage bioprocess. *Bioresource technology*, 210, 49-55.

Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.

El-Shinnawi, M. M., El-Tahawi, B. S., El-Houssieni, M., & Fahmy, S. S. (1989). Changes of organic constituents of crop residues and poultry wastes during fermentation for biogas production. *MIRCEN journal of applied microbiology and biotechnology*, 5(4), 475-486.

Ernst, G., Müller, A., Göhler, H., & Emmerling, C. (2008). C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in the presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea caliginosa*). *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), 1413-1420.

Insam, H., Gómez-Brandón, M., & Ascher, J. (2015). Manure-based biogas fermentation residues—Friend or foe of soil fertility?. *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 1-14.

Kolář, L., Kužel, S., Peterka, J., Štindl, P., & Plát, V. (2008). Agrochemical value of organic matter of fermenter wastes in biogas production. *Plant, Soil and Environment*, 54(8), 321-328.

Kolář, L., Kužel, S., Peterka, J., & Borová-Batt, J. (2011). Utilisation of waste from digesters for biogas production. In *Biofuel's Engineering Process Technology*. IntechOpen.

Makádi, M., Tomócsik, A., & Orosz, V. (2012). Digestate: A new nutrient source—Review. In *Biogas*. IntechOpen.

Pötsch, E. M., Pfundtner, E., & Much, P. (2004). Nutrient content and hygienic properties of fermentation residues from agricultural biogas plants. *Land Use System Grassland Dominated Regions*, 9, 1055-1057.

Schendel, F. J., Von Keitz, M., Valentas, K. J., Heilmann, S. M., Jader, L. R., & Wood, B. M. (2015). U.S. Patent No. 8,999,030. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Zhang, C. A., Wang, Y. Q., Yuan, C. B., Yao, L., & Liu, Y. (2009). Analysis on the difference of nutrition contents between different anaerobic fermentation residue from different raw materials. *Modern Agricultural Sciences*, 1, 44-46.

Zheng, Y. H., Wei, J. G., Li, J., Feng, S. F., Li, Z. F., Jiang, G. M., ... & Ning, T. Y. (2012). *Anaerobic fermentation technology*

increases biomass energy use efficiency in crop residue utilization and biogas production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(7), 4588-4596.

Yiwen, L., Yinghua, Q., Yilin, X., Yanxiao, H., & Cong, L. (2012). Change of nutrition contents of biogas slurry with different fermentation raw materials. *China Biogas*, 30(3), 17-20.

Závěr

Znalecký ústav podal odpověď na všechny otázky formulované ve znaleckém úkolu. Odpovědi na jednotlivé otázky jsou obsahem části „*Posudek*“.

ZNALECKÁ DOLOŽKA VŠTE

Znalecký posudek je podán znaleckým ústavem zapsaným v I. oddílu seznamu znaleckých ústavů jako ústav jmenovaný rozhodnutím ministra spravedlnosti ČR ze dne 17. 8. 2015, č.j. MSP-48/2015-OJ-SZN/13 pro obor ekonomika s rozsahem znaleckého oprávnění: finanční majetek a oceňování podniků, přezkoumávání a posuzování přeměn obchodních společností (fúze, převod jmění na společníka, rozdělení, změna právní formy), posuzování a přezkoumávání vztahů, smluv, cen a dalších skutečností podle obchodního zákoníku, účetní evidence, oceňování nehmotného majetku, nepeněžitých vkladů, investice, mzdy, oceňování nemovitostí a movitostí.

Znalecký posudek je podán znaleckým ústavem zapsaným v I. oddílu seznamu znaleckých ústavů jako ústav jmenovaný rozhodnutím ministra spravedlnosti ČR ze dne 26. 4. 2016, č.j. MSP-16/2016-OOJ-SZN/8 pro obor strojírenství s rozsahem znaleckého oprávnění: konstrukce strojů, technologických zařízení, dopravní a manipulační techniky, výrobní a materiállové inženýrství (systémy a procesy, výrobní stroje a zařízení), posuzování technického stavu (kvalita, spolehlivost a bezpečnost) výrobních strojů a zařízení včetně posuzování příčin havárií strojů a zařízení.

Znalecký úkon je zapsán pod pořadovým číslem 227/28/2019 znaleckého deníku.

Znalečné a náhrada nákladů je účtována na základě samostatné faktury.

Znalecký posudek připravili, mohou jej stvrdit a podat příp. vysvětlení dle § 22 odst. 1 zákona č. 36/1967 Sb.:

Ing. Vojtěch Stehel, MBA, PhD



.....

VŠTE
Okružní 517/10
370 01 České Budějovice

Tel.: +420 380 070 217
Mob.: +420 775 867 036
znaleckeposudky@mail.vstecb.cz

IČO: 75081431
DIČ: CZ75081431
www.VSTECB.cz

doc. Ing. Josef Maroušek, Ph.D.

Ing. Tomáš Krulický

V Českých Budějovicích dne: 27. 5. 2019



Otisk znalecké pečeti

Ing. Veronika Machová, MBA
ředitelka ústavu znalectví a oceňování
Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích

**Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích
Ústav znalectví a oceňování**

**ZNALECKÝ ÚSTAV JMENOVANÝ MINISTREM SPRAVEDLNOSTI ČR
PRO OBOR EKONOMIKA, STROJÍRENSTVÍ A STAVEBNICTVÍ**

Zadavatel: AIVOTEC s.r.o.
Na Sádkách 2798
767 01 Kroměříž
IČ 24172138
DIČ CZ24172138

Dodatek č. 1

ke znaleckému posudku 227/28/2019

biouhel

Číslo jednací:

VŠTE004825/2019

Datum zpracování posudku:

17. 6. 2019

**Znalecký posudek připravili, mohou jej
stvrdit a podat příp. vysvětlení dle § 22
odst. 1 zákona č. 36/1967 Sb.:**

Ing. Vojtěch Stehel, MBA, PhD.

doc. Ing. Josef Maroušek, Ph.D.

Ing. Tomáš Krulický

Ing. Veronika Machová, MBA

Ředitelka ústavu:

11

Počet stran ZP + přílohy:

3 předané + 1 uložené ve Znaleckém ústavu

Počet vyhotovení:

OBSAH

Prohlášení	3
Nález	4
Znalecký úkol	4
Posudek	5
Závěr	9
Znalecká doložka VŠTE.....	10

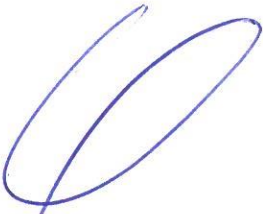
PROHLÁŠENÍ

Znalecký ústav Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích (dále jen „Znalecký ústav“) nenesе žádnou odpovědnost za správnost a úplnost zadavatelem předložených vstupních informací, které převzal bona fide bez možnosti jejich dalšího ověření a porovnání s jiným informačním zdrojem. Informace, s nimiž Znalecký ústav pracoval a na jejichž základě provedl posouzení, byly získány z veřejných zdrojů nebo od zadavatele znaleckého posudku.

Ve znaleckém posudku byly respektovány všechny podstatné skutečnosti, které byly Znaleckému ústavu známy a které měly vliv na zpracování znaleckého posudku.

Znalecký ústav nemá v současné době ani v budoucnosti nebude mít žádné zájmy na majetku, který je předmětem posudku, a neexistuje osobní zájem nebo zaujatost vzhledem k majetku, který je předmětem posudku. Rovněž tak odměna za zpracování znaleckého posudku nezávisí na zjištěných závěrech.

V Českých Budějovicích dne 17. 6. 2019



.....
Ing. Veronika Machová, MBA
ředitelka ústavu znaleství a oceňování
Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích

NÁLEZ

Zadavatel se obrátil na Znalecký ústav s žádostí o doplnění znaleckého posudku č. 227/28/2019, který byl vypracován Znaleckým ústavem dne 27. 5. 2019. Předmětem dodatku je zodpovězení dodatečné otázky, směřující na vyčíslení množství odebraného oxidu uhličitého z atmosféry biouhlem, pokud je uložen do půdy.

ZNALECKÝ ÚKOL

V doplňku znaleckého posudku je třeba zodpovědět následující otázky:

Jaké množství oxidu uhličitého odebere z atmosféry 1 tuna biouhlu, pokud bude uložena do půdy?

POSUDEK

Aby bylo možno kvantifikovat množství ekvivalentů oxidu uhličitého, který je aplikací biouhlu ukládán do půdy, je nezbytné zohlednit veškeré známé interakce, ke kterým tímto procesem dochází. S ohledem na množství proměnných je nezbytné přistoupit k některým zjednodušením.

V souvislostech biouhlu se jedná především o 2 hlavní procesy: 1/ samotné uložení uhlíku do půdy, 2/ zvýšení sekvestrace uhlíku fotosyntézou.

Obecně je za biouhel požadováno sypké reziduum odpadní biomasy, které obsahuje více než 50 % uhlíku (Lehman and Joseph, 2015; Jeffery a kol., 2011; Spokas a kol., 2011; Lehmann, 2007). Tato koncentrace je v naprosté většině případů překračována, rešerše i meta-analýzy uvádí nejčastěji rozpětí od 70 % do 85 % (Ahmad a kol., 2014; Sohi a kol., 2010; Lehman a kol., 2011), ovšem k následujícím výpočtům budeme přistupovat z celé řady důvodů s konzervativní hodnotou 70 % (získané výsledky by tak mohly být v důsledku lepší).

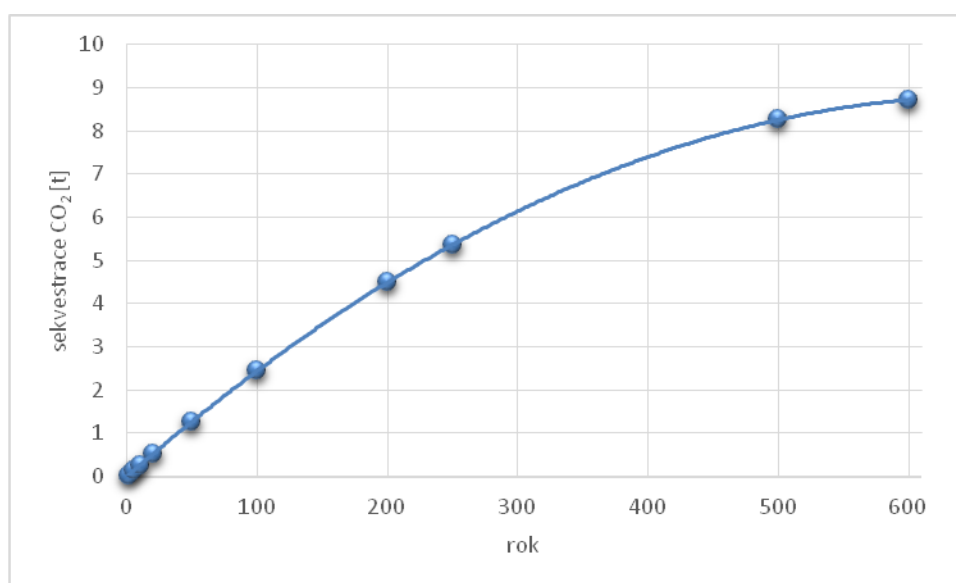
Pokud zohledníme nejčastěji ověřované (Gale a Thomas, 2019; Ajayi a Rainer, 2017; Shen a kol., 2015; Lehmann a Joseph, 2015) dávkování biouhlu 20 t ha^{-1} , stechiometrickým výpočtem získáváme, že tímto množstvím biouhlu (o 70% uhlíku) bylo bezprostředně sekvestrováno $37 \text{ tun CO}_2 \text{ ha}^{-1}$. Jedna tuna biouhlu tak samotnou aplikací uloží $3,7 \text{ t CO}_2$ na dobu několika set let (Kumar a kol., 2018; Chaker a kol., 2018; Choudhari a kol., 2015; Woof a kol., 2010; Gaunt a Lehmann, 2008, detailněji viz předchozí diskuze problematiky).

Důležité jsou „sekundární“ projevy, které se projevují v maximální míře poté, co se biouhel plně stane součástí půdy. Tyto jsou spjaty zejména s chemickými (pH, kationto – výměnná kapacita, sorbce atd.), fyzikálními (vodní a vzdušná retence půdy, barva, porozitost, hustota atd.) a biologickými (zvýšení metabolické aktivity a populační dynamiky půdní bioty, zvýšená kinetika mineralizace atd.) interakcemi, které v důsledku komplexně zvyšují půdní úrodnost (El-Naggar a kol., 2019; Giagnoni a kol., 2019; Hagemann a kol., 2017; Ding a kol., 2016; Zhang a kol., 2016; Vaccari a kol., 2015), respektive její rezistenci vůči negativním jevům (Quian a kol., 2019; Wang a kol., 2019; Shen a kol., 2018; O’Connor a kol., 2018; Akachukwu a kol., 2014). Zvýšenou produkci rostlinné hmoty je možno interpretovat jako zvýšení sekvestrace uhlíku fotosyntézou.

Efekt biouhlu na zvýšení produkce rostlinné hmoty je různý, záleží nejen na kvalitativních ukazatelích biouhlu, ale též na dostupnosti půdy, plodině, klimatu, zvolené agrotechnice a dalších okolnostech (Omondi a kol., 2016; DeLuca a kol., 2015; Rogovka a kol., 2017; Tripathi a kol., 2016). Platí široký konsenzus, že maximálního efektu je dosahováno po prvních letech od aplikace, přičemž tento lze podpořit aplikací organické hmoty, jako snadno dostupného zdroje energie pro půdní mikroorganismy (McCormack a kol., 2019; Prodana a kol., 2019; Andrés a kol., 2019; Jindo a Sonoki, 2019; Thies a kol., 2015). Výše uvedená literatura zmiňuje zvýšení úrodnosti nejčastěji v rozpětí 7 až 19 %. Pro kalkulaci zvýšené sekvestrace CO₂ do rostlinné hmoty můžeme při standardní zemědělské produkci biomasy 6 t ha⁻¹ při konzervativním 7 % nárůstu a 40% obsahu uhlíku v rostlinné hmotě spočítat, že nárůst sekvestrovaného uhlíku v CO₂ bude 5,4 t ha⁻¹, respektive na 0,26 t CO₂ na 1 tunu biocharu za 10 let. Integrální výpočet sekvestrace za těchto hraničních parametrů lze převést na rovnici:

$$y = -3^{-21}x^3 - 2^{-5}x^2 + 0.0264x - 5^{-14},$$

kteřá udává množství sekvestrovaného uhlíku v t CO₂ v jakémkoli roce (viz Graf č. 1).



Graf č. 1: kumulativní množství uhlíku zachyceného fotosyntézou za dobu životnosti biouhlu

V delších časových úsecích narážíme na hranice lidského poznání. Pokud kalkulací zohledníme že za 600 let bude v půdě hladina biouhlu na 10 %, lze aproximovat, že za 100 let 1 tuna biouhlu uloží 2,4 tuny a například za 500 let sekundárně sekvestruje 8,3 t CO₂.

Odpověď:

V návaznosti na výše uvedené lze diskutovat, že aplikace 1 tuny biouhlu do půdy sekvestruje v souvislostech lidského života minimálně **5 tun CO₂**, přičemž celkový potenciál sekvestrace je více než dvojnásobný, minimálně **12 tun CO₂**. Předpokladem je šetrná výroba biouhlu a racionální zemědělská praxe.

Citace:

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., ... & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.

Ajayi, A. E., & Rainer, H. O. R. N. (2017). Biochar-induced changes in soil resilience: Effects of soil texture and biochar dosage. *Pedosphere*, 27(2), 236-247.

Akachukwu, D., Gbadegesin, M., Ojmelukwe, P., & Atkinson, C. (2018). Biochar remediation improves the leaf mineral composition of *Telfairia occidentalis* grown on gas flared soil. *Plants*, 7(3), 57.

Andrés, P., Rosell-Melé, A., Colomer-Ventura, F., Deneff, K., Cotrufo, M. F., Riba, M., & Alcañiz, J. M. (2019). Belowground biota responses to maize biochar addition to the soil of a Mediterranean vineyard. *Science of The Total Environment*, 660, 1522-1532.

Chaker, R., Gargouri, K., Ben Mbarek, H., Baraket, F., Maktouf, S., Soua, N., ... & Bouzid, J. (2018). Effect of biochemical fraction of exogenous organic matter on CO₂ emission from arid soil. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 8(4), 721-733.

DeLuca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., & Jones, D. L. (2015). Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2, 421-454.

Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., ... & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 36.

El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., ... & Ok, Y. S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337, 536-554.

Gale, N. V., & Thomas, S. C. (2019). Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. *Science of The Total Environment*, 658, 1344-1354.

Gaunt, J. L., & Lehmann, J. (2008). Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental science & technology*, 42(11), 4152-4158.

Giagnoni, L., Maienza, A., Baronti, S., Vaccari, F. P., Genesio, L., Taiti, C., ... & Mancuso, S. (2019). Long-term soil biological fertility, volatile organic compounds and chemical properties in a vineyard soil after biochar amendment. *Geoderma*, 344, 127-136.

Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H. P., Kammann, C. I., Harter, J., Borch, T., ... & McKenna, A. (2017). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature communications*, 8(1), 1089.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.

- Jindo, K., & Sonoki, T. (2019). Comparative Assessment of Biochar Stability Using Multiple Indicators. *Agronomy*, 9(5), 254.
- Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Naushad, M. (2018). Biochar and its Composites. *Carbonaceous Composite Materials*, 42, 309-334.
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), 143.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.
- McCormack, S. A., Ostle, N., Bardgett, R. D., Hopkins, D. W., Pereira, M. G., & Vanbergen, A. J. (2019). Soil biota, carbon cycling and crop plant biomass responses to biochar in a temperate mesocosm experiment. *Plant and Soil*, 1-16.
- O'Connor, D., Peng, T., Zhang, J., Tsang, D. C., Alessi, D. S., Shen, Z., ... & Hou, D. (2018). Biochar application for the remediation of heavy metal polluted land: a review of in situ field trials. *Science of the total environment*, 619, 815-826.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28-34.
- Prodana, M., Silva, C., Gravato, C., Verheijen, F. G. A., Keizer, J. J., Soares, A. M. V. M., ... & Bastos, A. C. (2019). Influence of biochar particle size on biota responses. *Ecotoxicology and environmental safety*, 174, 120-128.
- Rogovska, N., Laird, D., Leandro, L., & Aller, D. (2017). Biochar effect on severity of soybean root disease caused by *Fusarium virguliforme*. *Plant and Soil*, 413(1-2), 111-126.
- Qian, T. T., Wu, P., Qin, Q. Y., Huang, Y. N., Wang, Y. J., & Zhou, D. M. (2019). Screening of wheat straw biochars for the remediation of soils polluted with Zn (II) and Cd (II). *Journal of hazardous materials*, 362, 311-317.
- Shen, Z., Jin, F., Wang, F., McMillan, O., & Al-Tabbaa, A. (2015). Sorption of lead by Salisbury biochar produced from British broadleaf hardwood. *Bioresource technology*, 193, 553-556.
- Shen, Z., Hou, D., Zhao, B., Xu, W., Ok, Y. S., Bolan, N. S., & Alessi, D. S. (2018). Stability of heavy metals in soil washing residue with and without biochar addition under accelerated ageing. *Science of the Total Environment*, 619, 185-193.
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. In *Advances in agronomy* (Vol. 105, pp. 47-82). Academic Press.
- Spokas, K. A., Novak, J. M., Stewart, C. E., Cantrell, K. B., Uchimiya, M., DuSaire, M. G., & Ro, K. S. (2011). Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere*, 85(5), 869-882.
- Thies, J. E., Rillig, M. C., & Graber, E. R. (2015). Biochar effects on the abundance, activity and diversity of the soil biota. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2, 327-389.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.
- Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonardo, S., Giagnoni, L., ... & Valboa, G. (2015). Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 163-170.
- Wang, Y., Wang, H. S., Tang, C. S., Gu, K., & Shi, B. (2019). Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils by Biochar: a Review. *Environmental Geotechnics*, 1-14.
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56.
- Zhang, D., Pan, G., Wu, G., Kibue, G. W., Li, L., Zhang, X., ... & Liu, X. (2016). Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere*, 142, 106-113.

ZÁVĚR

V návaznosti na výše uvedené lze diskutovat, že aplikace 1 tuny biouhlu do půdy sekvestruje v souvislostech lidského života minimálně 5 tun CO₂, přičemž celkový potenciál sekvestrace je více než dvojnásobný, minimálně 12 tun CO₂. Předpokladem je šetrná výroba biouhlu a racionální zemědělská praxe.

ZNALECKÁ DOLOŽKA VŠTE

Znalecký posudek je podán znaleckým ústavem zapsaným v I. oddílu seznamu znaleckých ústavů jako ústav jmenovaný rozhodnutím ministra spravedlnosti ČR ze dne 17. 8. 2015, č.j. MSP-48/2015-OJ-SZN/13 pro obor ekonomika s rozsahem znaleckého oprávnění: finanční majetek a oceňování podniků, přezkoumávání a posuzování přeměn obchodních společností (fúze, převod jmění na společníka, rozdělení, změna právní formy), posuzování a přezkoumávání vztahů, smluv, cen a dalších skutečností podle obchodního zákoníku, účetní evidence, oceňování nehmotného majetku, nepeněžitých vkladů, investice, mzdy, oceňování nemovitostí a movitostí.

Znalecký posudek je podán znaleckým ústavem zapsaným v I. oddílu seznamu znaleckých ústavů jako ústav jmenovaný rozhodnutím ministra spravedlnosti ČR ze dne 26. 4. 2016, č.j. MSP-16/2016-OOJ-SZN/8 pro obor strojírenství s rozsahem znaleckého oprávnění: konstrukce strojů, technologických zařízení, dopravní a manipulační techniky, výrobní a materiállové inženýrství (systémy a procesy, výrobní stroje a zařízení), posuzování technického stavu (kvalita, spolehlivost a bezpečnost) výrobních strojů a zařízení včetně posuzování příčin havárií strojů a zařízení.

Znalečné a náhrada nákladů je účtována na základě samostatné faktury.

Znalecký posudek připravili, mohou jej stvrdit a podat příp. vysvětlení dle § 22 odst. 1 zákona č. 36/1967 Sb.:

Ing. Vojtěch Stehel, MBA, PhD



.....

doc. Ing. Josef Maroušek, Ph.D.

Ing. Tomáš Krulický

V Českých Budějovicích dne: 17. 6. 2019



Otisk znalecké pečeti

Ing. Veronika Machová, MBA
ředitelka ústavu znalectví a oceňování
Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích